

# Analysis of the Atmospheric Electric Field Data Error Impact

Guoliang Li<sup>1</sup>, Jun Li<sup>2</sup>, Xiang Li<sup>1</sup>, Ying Pi<sup>1</sup>, Xin Li<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hubei Lightning Protection Center, Wuhan Hubei

<sup>2</sup>Hubei Meteorological Information and Technical Support Center, Wuhan Hubei

Email: guoliang\_li@163.com

Received: Nov. 20<sup>th</sup>, 2017; accepted: Dec. 4<sup>th</sup>, 2017; published: Dec. 11<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

For the study of atmospheric electric field data error, solving the problem of atmospheric electric field instrument data consistency, this paper simulated different size of the cube instead of the real buildings, high voltage wire, metal rods, trees and so on with Ansoft Maxwell electromagnetic field simulation software. Analysis shows that the terrain environment and instrument installation height on the ground have a great influence on the ground atmospheric electric field measurement results, which makes the atmospheric electric field instrument data lack of comparability between each observation point. It is concluded that the installation of the electric field instrument must consider environmental factors, it away from the obstacle distance shall not be less than 3 times of the barrier height and 2 times of the width, considering the influence of the barrier height  $c$  and width depth ratio  $a/b$  at the same time. The influence of the height and environmental equipment can use linear fitting to correct with reference to the standard measurement data.

## Keywords

Atmospheric Electric Field, Terrain Environment

---

# 大气电场数据误差的影响分析

李国梁<sup>1</sup>, 李俊<sup>2</sup>, 李享<sup>1</sup>, 邴莹<sup>1</sup>, 李鑫<sup>1</sup>

<sup>1</sup>湖北省防雷中心, 湖北 武汉

<sup>2</sup>湖北省气象信息与技术保障中心, 湖北 武汉

Email: guoliang\_li@163.com

收稿日期: 2017年11月20日; 录用日期: 2017年12月4日; 发布日期: 2017年12月11日

---

## 摘要

为研究大气电场数据误差影响, 解决大气电场仪数据一致性问题, 本文采用Ansoft Maxwell电磁场仿真

软件,以不同尺寸的立方体代替地面上凸出的建筑物、高压线、金属杆、树木等,进行了仿真计算和分析。分析表明:地物环境和电场仪安装高度对地面大气电场测量结果的影响较大,使得地面大气电场仪各观测点数据间缺乏可比性。得出电场仪的安装要考虑环境因素,其离障碍物距离不得低于障碍物高度的3倍、宽度的2倍,同时考虑障碍物高度 $c$ 和宽深比 $a/b$ 的影响。设备高度和环境的影响,可利用线性拟合对照标准场所测量数据进行修正。

## 关键词

大气电场,地物环境

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

大气电场仪是监测大气瞬态电场值的设备,常常应用于雷电预警业务中,但大气电场测量值受安装环境的影响较大,建筑物、高压线、金属杆、树木等都会引起大气电场的准确性,使得雷电预警阈值缺乏基准,各观测点数据间的可比性较差。国内外一些学者曾对导体影响与附近大气电场的情况做了一些研究,李振亚[1]利用小波分析方法对大气电场波形去噪分析,郭秀峰[2]对建筑物尖端大气电场畸变进行了研究,行鸿彦[3]对大气电场仪观测数据进行海拔校正,周璧华[4]研究了地物环境对地面大气电场测量的影响,耿雪莹[5]对雷暴云大气电场影响的模拟研究,许强[6]研究了不同相对介电常数建筑物对大气电场畸变,周苑[7]研究了大气电场仪本身对电场的影响和修正,柴健[8]研究了雷暴天气下建筑物对大气电场测量的影响,杨超[9]研究了厦门沿海近地层大气电场垂直变化规律和近地面层不同高度大气电场变化特征。但尚未见到关于设备安装高度、地物环境影响问题的研究。因此为解决大气电场仪数据一致性问题,消除对大气电场测量值的影响,有必要将影响大气电场数据的因子进行分析,开展电场数据的基准性校正,使得电场仪联网数据具有可比性。

## 2 电场仪的测量原理

地面附近的大气电场由大气带电离子所决定,气溶胶浓度、大气中的水汽、周围环境和温度均会对大气电场值产生影响。设某地面存在 $n$ 个电荷区,该地点所产生的场强为[10]

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i \cdot H_i}{2\pi\epsilon_0 \cdot (H_i^2 + L_i^2)^{3/2}} \quad (1)$$

其中: $Q_i$ 表示空中每个电荷区所带电荷量; $L_i$ 是电荷区与该点之间的水平距离; $H_i$ 是每个电荷区距离地面的高度。

地面大气电场测量的主要原理是:位于电场中的导体上会产生感应电荷,通过场磨式大气电场仪转动会产生交变的电流信号,经过I-V转换以后得到一个交流电压信号,通过对该电压信号进行多级线性放大,可以得到最终的输出直流电压信号 $V$ 与实际电场强度 $E$ 存在着线性关系: $V = kE$ 。 $k$ 为确定系数。

测量误差的主要来源有设备误差和环境误差。设备误差主要与设备性能有关,但设备出厂一般要进行检验和校准,因此环境误差成为我们研究的重点,这里主要针对安装高度与安装环境对测量值的影响进行分析。

### 3. 大气电场分布特征

大气电场与天气形势、地理环境及气溶胶的浓度关系较大，随着时间和空间而变。

#### 3.1. 空间分布

海洋由于下垫面基本相似，晴天电场差异不大，一般在 50~250 V/m 之间，陆地由于地形及下垫面差异很大，周围环境不同，一般在 19~310 V/m 之间，城市人口密集区、工业区大气电场大于农村和远离城市的乡村，大气电场随着纬度的变化不十分明显，在 40°N~60°N 稍大一些。在近地面处，晴天大气电场将受大地电极的影响，由于大地带负电荷，在近地面大气中积聚了大量正电荷，该电荷密度分布不均匀，随高度变化而变化，形成大气电场和电场梯度，通常晴天大气电场随高度呈指数衰减的分布特征。

#### 3.2. 时间分布

太阳活动、大气状况、全球雷暴的日变化制约大气电场的日变化，陆地上主要受当地大气状况和地方时影响，受大气中气溶胶日变化的影响较大，海洋上主要受世界时的影响，与全球雷暴活动日变化相关。对于农村和远离城市的乡村，大气电场表现为单峰单谷型，峰值出现在地方时 13~19 时，谷值出现在地方时 2~6 时；在城市人口密集区、工业区大气电场表现为双峰双谷型，峰值分别出现在地方时 7~10 时和 18~21 时，谷值分别出现在地方时 2~6 时和 13~16 时；在广阔的海洋和大量冰雪覆盖区，表现为单峰单谷型，峰值出现在世界时 18~21 时，谷值出现在 2~6 时。晴天大气电场具有明显年变化，其变化规律因地制宜，通常具有单峰单谷，北半球而言峰值出现在冬季，谷值出现在夏季。

### 4. 设备高度误差分析

在空旷的地表附近，大气电场是一组与地表面近乎平行的等势面组成，电场线是均匀分布的。晴天条件下，由于大气离子携带的电荷量很少，电场值较小，周围微弱的电荷干扰也会对测量值产生影响。在雷暴天气下，尤其是当雷暴云离电场仪距离较近时，主要受雷暴云中的带电荷区所控制，周围其他带电粒子对地面电场值影响较小，雷暴云与大地之间可视作为平板电容，故可设近地表为均匀电场  $E_0$ ，受感应定片上的感应电荷为  $Q$ ，电场仪高度  $h$  上感应的电荷线密度为  $\rho$ ，则在平面高度  $h$  内任意一点的电势为

$$\phi = -E_0 y + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_0^h \frac{\rho dy}{\sqrt{x^2 + y^2}} + \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{1}{\sqrt{x^2 + (y-h)^2}} \right] \quad (2)$$

平面内任一点电场为

$$E(x, y) = -\nabla\Phi(x, y) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{\rho}{x\sqrt{h^2 + x^2}} + \frac{Qx}{[x^2 + (y-h)^2]^{3/2}} \right\} i + \left\{ E_0 - \frac{Q(y-h)}{2\pi\epsilon_0 [x^2 + (y-h)^2]^{3/2}} \right\} j \quad (3)$$

其中  $i$  和  $j$  分别为  $X$  和  $Y$  轴的单位矢量。由(3)式可知：大气电场主要与感应的电荷量  $Q$  和电荷线密度  $\rho$  以及传感器高度  $h$  有关，而感应电荷分布与仪器自身的形状有关，因此电荷量多少和传感器高度均会影响电场强度，在雷暴天气下，云中电荷量较大，误差值比晴天要大。当电场仪安装在有一定高度的楼顶或房顶时，这样测量的数据即是传感器所在高度处的电场强度，所测得的数据会显著大于该点附近地面的电场值，原因可能是由于建筑物与地面可以看成是一等势面，楼自身高度导致地面电场畸变很严重，位于楼顶处，大气电场的分布比较密集，电势梯度明显要大于地面平坦处。计算表明，当未受到大

地电极影响,晴天大气电场为 50 V/m 和 250 V/m,在地表处受地极影响与未受地极影响相差 2.8 倍,这种误差属于安装高度不同引起的长期稳定系统误差,可以通过对比观测拟合数据进行修正。

## 5 设备环境误差分析

电场仪测量的是地表的大气电场强度,理想探测环境是周边没有遮挡的平坦安装场地,当周边有遮挡或者安装在突出于地表的地方时测到的电场强度与实际电场强度会有较大差别,如图 1 所示:

$k$  为电场仪安装的地形参数,当地形参数较小时(一般  $1 < k < 3$ ),可通过配置设备的地形参数进行纠正而不影响探测精度;当  $k > 3$  时,通过调整电场仪的地形参数来校准就会损失探测精度,因此要求电场仪尽量安装在空旷、平坦、周边没有高大物体遮挡的地面,一般要求探头所在位置对天仰角需要大于  $120^\circ$ 。为方便研究,将地面上凸出的建筑物、高压线、金属杆、树木等简化为立方体,通过对立方体周围的大气电场进行了仿真分析,得出不同立方体的大小、距离、高度对大气电场影响。设研究空间只有一个外加的垂直向下的均匀电场  $E_0$ ,地面及凸出物的表面电位均为 0,立方体的宽为  $a$ 、高为  $c$ 、深为  $b$ 。目前场磨式大气电场仪只对垂直方向的电场进行监测,故只考虑垂直方向上大气电场测量值,设环境修正系数  $k = E/E_0$ 。其中: $E$  为大气电场测量值, $E_0$  为实际大气电场值。用电磁场仿真软件 Ansoft Maxwell 进行仿真计算和分析发现:1)随着与立方体距离加大,立方体对近地表面电场产生的影响减小得很快,当离立方体的距离增加至立方体宽度和高度( $a + c$ )时,电场受到该立方体的影响才会变得很小;2)若立方体的高度  $c$  大于宽度  $a$ ,即立方体高度作为主要影响因子,地面电场的影响范围主要取决于高度  $c$ ,即在与立方体距离大于 3 倍立方体高度区域,地表面电场几乎不再受立方体的影响。3)若立方体的高度  $c$  小于宽度  $a$ ,此时地面电场的影响范围主要取决于  $a$ 。即在与立方体距离大于 2 倍宽度  $a$  的区域,地表面大气电场几乎不再受立方体的影响;4)对于  $a \leq c \leq 3a$  的立方体模型,在计算其影响范围和不同位置处的修正系数时则需同时考虑高度  $c$  和宽深比  $a/b$  的影响,不同尺寸关系的模型其结果可能相差较大[11] [12]。

## 6 电场测量数据订正

### 6.1 对比分析

由于环境的复杂性,电场仪测量受环境的影响程度是不同的,需要定量地进行分析,只有通过大量的数据对比分析才能找出一定的规律性,提高数据修正的准确性。采用离电场仪水平距离 500 m 的空旷区域安装一同类型电场仪,对安装在四层楼的建筑物平台上的电场仪(周围环境复杂)进行校准,在同一时

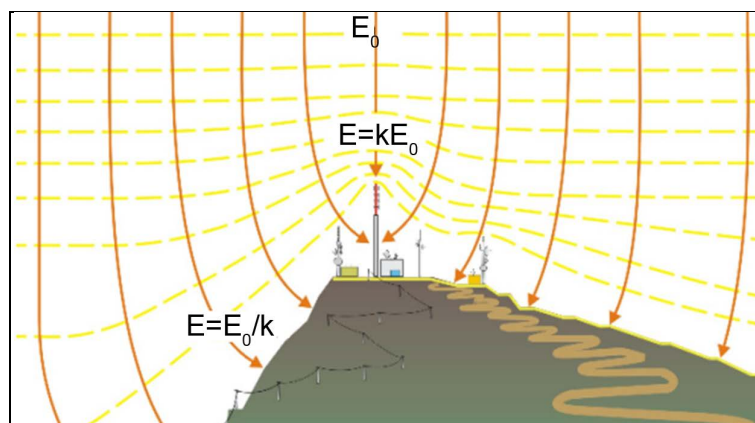


Figure 1. Distribution of atmospheric electric field around buildings  
图 1. 大气电场在建筑物周边分布图

间及天气环境情况下,同时监测大气电场数据(见图2),由图2可见,建筑物平台上测到的电场值比地面大,电场值越大差别也越大,分析发现两曲线存在一定的线性关系,运用最小二乘法对两组数据进行拟合得出  $E_0 = E_1/2.72 + K$ 。其中  $E_0$  是空旷区域电场仪值,  $E_1$  是建筑物楼顶电场值,  $K$  为不同安装环境系数[13]。通过该表达式可以修正建筑物平台电场仪数据,用同样方法将其他电场仪进行同一基准性订正。

## 6.2. 效果检验

利用2017年6月9日武昌站和2017年7月26~28日黄陂、江夏、汉口、东西湖、蔡甸区、汉南、金口站的观测结果对上述方法进行检验,结果见表1。

从表1可以看出,修定值与参照站之间具有较好的一致性[14],相对误差较小,均在5%以内,受安装环境条件的限制,电场仪需要安装在楼顶、不太开阔的环境,这就需要对其进行订正,确保数据的可比较性,实现电场仪网络数据的一致性。实际过程中,需要对数据进行长时间、不同天气情况和季节的订正,不同的地理位置以及环境的改变、仪器设备的变化,都要进行适当的修正[15]。

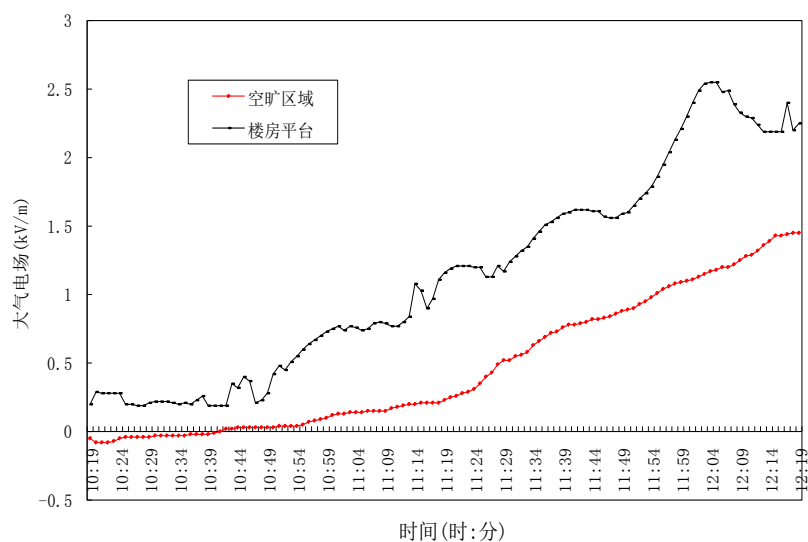


Figure 2. Monitoring values of atmospheric electric field in different environments  
图2. 不同环境大气电场监测值

Table 1. Comparison test results  
表1. 对比检验结果

日期	时间区间	天气实况	大气电场观测站	实测平均值 (kV/m)	修定值 (kV/m)	参照站平均值 (kV/m)	修正值与参照站的相对误差(%)
2017-06-09	10:49~11:09	雷雨	武昌	1.101	0.445	0.437	1.75
2017-07-26	15:09~15:27	晴天	黄陂	0.146	-0.366	-0.364	0.63
2017-07-27	10:01~10:21	晴天	汉口	0.055	-0.200	-0.202	1.11
2017-07-27	11:09~11:21	晴天	东西湖	0.354	-0.160	-0.159	0.53
2017-07-27	12:02~12:22	晴天	蔡甸	0.238	-0.263	-0.262	0.19
2017-07-27	13:26~13:44	雷雨	汉南	-3.721	-2.168	-2.131	1.71
2017-07-27	15:02~15:22	雷雨	金口	3.705	0.662	0.655	1.08
2017-07-28	17:32~17:45	晴天	江夏	0.169	-0.138	-0.144	4.45

## 7. 结论

本文从大气电场仪测量原理入手,分析了大气电场测量中容易产生高度误差及环境影响误差,将地面凸出的建筑物、高压线、金属杆、树木等模拟为立方体形状,用电磁场仿真软件 Ansoft Maxwell 进行仿真计算和分析,得出立方体周围电场特征,以及不同大小的立方体周围对电场环境的影响,结论如下:

- 1) 测量误差的主要来源有设备误差和环境误差。环境误差主要与设备安装高度和安装环境有关;
- 2) 电荷量多少和传感器高度均会影响电场强度,在雷暴天气下的误差值比晴天要大;
- 3) 大气电场仪离建筑物、高压线、金属杆、树木等越远、影响和误差值越小;
- 4) 若障碍物的高度大于宽度时,电场仪距离障碍物的距离应大于障碍物高度的3倍;若障碍物的高度小于宽度时,电场仪距离障碍物的距离应大于障碍物宽度的2倍;
- 5) 电场仪安装位置要充分考虑距障碍物的距离,同时考虑障碍物高度  $c$  和宽深比  $a/b$  的影响。
- 6) 将所有电场仪数据与环境好的电场仪进行统计分析,通过最小二乘法找出相互关系,对所有电场仪测量数据进行修正,实现数据的一致性。

由于试验时间较短,获取的数据有限,订正系数需要长时间更多的观测数据来进一步验证及优化,天气环境的影响和设备变化及当地环境的改变,其订正结论需要进一步研究。

## 资助项目

湖北省气象局科技发展基金(雷电定点预警因子基准性订正研究,2016Y07)。

## 参考文献 (References)

- [1] 李振亚,肖稳安,张其林,等.小波分析在雷击大气电场波形去噪分析中的应用[J].气象科学,2014,34(3):282-287.
- [2] 郭秀峰,谭涌波,郭凤霞,等.建筑物尖端对大气电场畸变影响的数值计算[J].应用气象学报,2013,24(2):189-196.
- [3] 行鸿彦,张强,徐伟,等.大气电场仪观测数据的海拔校正及联网[J].解放军理工大学学报:自然科学版,2014,15(6):591-597.
- [4] 周璧华,姜慧,杨波,等.地物环境对地面大气电场测量的影响[J].电波科学学报,2010(5):839-844.
- [5] 耿雪莹,张其林,刘明远.地面建筑物(群)对雷暴云大气电场影响的模拟研究[J].气象科技,2012,40(5):827-833.
- [6] 许强.不同相对介电常数建筑物对大气电场畸变的研究[J].电瓷避雷器,2017(3):178-181.
- [7] 周苑,黄钰.大气电场仪本身对电场的影响和修正[J].自然科学:文摘版,2016(5):00239-00239.
- [8] 柴健,张谦.雷暴天气下建筑物对大气电场测量的影响[J].解放军理工大学自然科学版,2017,18(1):56-60.
- [9] 杨超,曾金全,洪志敏,等.厦门沿海近地层大气电场垂直变化规律[J].热带海洋学报,2016,35(1):96-101.
- [10] 陈渭民.雷电学原理[M].第2版.北京:气象出版社,2006.
- [11] 张谦,柴健,黄克俭.雷暴天气下建筑物周围电场畸变区域的研究分析[J].中国农学通报,2016,32(6):145-150.
- [12] 余蓉,杜牧云,杜九三.大气电场仪资料的小波去噪研究[J].成都信息工程学院学报,2016,31(2):175-179.
- [13] 邓海利,李莉,赵京峰,等.单站式大气电场仪探测距离分析[J].安徽农业科学,2015,43(21):222-224.
- [14] 秦微,张其林,姜苏,等.基于大气电场资料的雷电临近预警研究[J].南京信息工程大学学报,2016,8(3):247-251.
- [15] 刘畅,靳小兵,陆茂,等.成都地区晴天地面大气电场特征研究[C]//防雷减灾论坛.2015.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2163-3967，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[ag@hanspub.org](mailto:ag@hanspub.org)